

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Тарасенко Ирины Андреевны** «Геохимические особенности состава и закономерности формирования подземных вод в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных угольных шахт», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых и 25.00.36 – Геоэкология

Рецензируемая диссертация **И.А.Тарасенко** состоит из введения, 6 глав, заключения и списка цитируемых источников. Работа посвящена рассмотрению фундаментальных гидрогеохимических процессов, которые протсходят при «мокрой» консервации угольных шахт. Общий объем составляет 327 страниц машинописного текста, 134 иллюстраций и 100 таблиц. Список литературы включает 441 наименование.

В первой главе приведена информация о масштабе ликвидации угольных шахт во всем мире, кратко сформулировано состояние проблемы и основные характеристики выполненного исследования как диссертационной работы, а также сформулированы основные **защищаемые положения**.

Актуальность проведенного исследования определяется (а) большим числом объектов и величиной территории, на которой проводится такая консервация, (б) значительностью изменения гидродинамический режим подземных вод и гидрогеохимической обстановки, (в) критическим влиянием проводимой консервации на источники водоснабжения. В качестве **объектов исследований** выбраны подземные воды районов ликвидированных угольных шахт Дальневосточного и других регионов РФ, Украины; информация, полученная в результате выполнения исследования, использовалась для принятия геоэкологических инженерных решений.

Автор рецензируемой диссертации выдвигает ряд положений фундаментального и прикладного характера, состоящих **научную новизну и практическую значимость работы** (формирование нового водоносного комплекса; изменение состава подземных вод и равновесной минеральной ассоциации; геохимическая связь и корреляция состава вод техногенного комплекса с минеральным составом угольных и надугольных геологических формаций; методика гидрогеохимического прогноза; методика численного прогноза влияния техногенного водоносного комплекса на экологическую безопасность региона; фундаментальные основы и методология управления качеством вод). **Личный вклад автора** в решение рассматриваемой комплексной научной проблемы подтверждается участием в проектах ОАО «ДальвостНИИпроектуголь» и договорах ДВГИ ДВО РАН.

Во второй главе описаны аналитические методы и приемы, используемые для решения поставленных в работе задач. *У рецензента нет принципиальных возражений по этой части работы.* Перечень компонентов химического состава достаточно полон. В перечень контролируемых компонентов входили: органолептические показатели (температура, запах, цветность) и показатели химического состава воды, в том числе рН, сухой остаток, общая жесткость, окисляемость перманганатная (ХПК) и бихроматная (БПК), щелоч-

ность, углекислота свободная, основные ионы (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), биогенные компоненты (NH_4^+ , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, NO_3^- , HNO_2), типичные загрязняющие микрокомпоненты (Be^{2+} , V^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Se^{2-} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , As^{3-} , Sr^{2+} , F^- , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Li^+ , Cd^{2+} , Hg^+ , Ba^{2+} , нефтепродукты и фенолы).

Исследования составов вод выполнялись с применением сертифицированных аналитических методов на современном оборудовании, характеристики которого приводятся в диссертации. Для обобщения и обработки геохимической информации использовались методы математической статистики (кластерный анализ) и приемы термодинамического компьютерного моделирования. Выполнялось построение цифровых моделей гидрохимических полей с использованием программы Surfer 8. *Оппонент может подтвердить репрезентативность гидрогеохимической информации и достоверность полученных выводов о процессах, происходящих в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных угольных шахт.*

В третьей главе выполнено описание осадочных и вулканогенно-осадочных комплексов угольных бассейнов и месторождений и история их формирования, а также гидрогеология исследуемых районов. *Предоставленный материал свидетельствует о большом опыте работы диссертанта с объектами исследования.*

В четвертой главе рассматриваются условия формирования состава подземных вод в районах ликвидированных шахт с целью разработки прогнозных моделей изменения гидрогеохимической обстановки. *Достоинством рецензируемой работы является большой объем изученной гидрогеологической информации, представленной в форме карт, таблиц химического состава и формул химического состава (по Курлову).* Рассмотрим этот материал, составляющий фундамент диссертации.

Восточно-Манжурский бассейн. *Показано, что питание подземных водоносных горизонтов рассматриваемых районов осуществляется за счет поверхностных вод ($\delta^2\text{D} = -61,3 \dots -101,1$; $\delta^{18}\text{O} = -8,7 \dots -13,7$).* Воды весьма пресные ($0,3-0,4$ г/дм³) гидрокарбонатные, от магниевых-натриево-кальциевых до кальциево-магниевых, повышение минерализации вод происходит за счет накопления ионов магния, гидрокарбонатов и сульфатов, что приводит к формированию солоноватых сульфатно-гидрокарбонатных, гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатных магниевых вод; для вод шахты Хасанская минерализация обусловливается концентрированием ионов натрия и гидрокарбонатов.

Центральный Сихотэ-Алинский бассейн. Подземные воды гидрокарбонатные, смешанные по катионам; с ростом минерализации приобретают сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатный натриевый состав.

Приханкайский артезианский бассейн. Воды являются весьма пресными ($0,26-0,42$ г/дм³), очень мягкими или умеренно жесткими ($0,55-3,3$ мг-экв/дм³). По анионному составу преимущественно гидрокарбонатные, по катионному составу – магниевые-кальциевые и кальциево-магниевые. Также (шахта им.Артема) формируются гидрокарбонатные натриевые весьма слабосоленые (минерализация $1,0-1,3$ г/дм³), мягкие и умеренно жесткие ($2,03-4,15$ мг-экв/дм³) воды.

Подземные воды в районах угольных месторождений Сахалинского бассейна (*Татарский адартезианский и Паранайский артезианский бассейны*) имеют главным образом гидрокарбонатный кальциевый состав. В природно-техногенных структурах Мгачинского, Бошняковского, Макаровского и Горнозаводского месторождений в подземных во-

дах происходит накопление ионов натрия, гидрокарбонатов и сульфатов. Установлено, что для вод Сахалинского бассейна характерны повышенные концентрации хлора относительно вод бассейнов Приморского края. Это обуславливает формирование, наряду с гидрокарбонатными и сульфатными натриевыми водами, вод смешанного анионного состава.

На основе изложенного выше фактического материала диссертант приходит к выводу, что в рассматриваемых районах Приморья и Сахалина природные воды являются гидрокарбонатными смешанными по катионам. В природно-техногенных структурах районов ликвидированных угольных шахт Раздольненского бассейна при повышении минерализации вод наблюдается преимущественное накопление ионов Mg^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} , а в водах природно-техногенных структур Партизанского, Угловского и Сахалинского бассейнов, Хасанского и Подгородненского месторождений рост минерализации происходит, главным образом, за счет повышения концентраций Na^+ , SO_4^{2-} и HCO_3^- .

С точки зрения оппонента выполненный анализ системы «вода-порода», обобщающей полученные наблюдения, является фундаментальным вкладом диссертанта в геохимию подземных вод и геоэкологию. Диссертантом выполнены физико-химические расчеты комплексообразования, которые позволили установить, что миграция компонентов в исследованных природных водах осуществляется преимущественно в виде незакомплексованных ионов, но с ростом минерализации доля комплексных соединений миграционных форм растет; тенденция возрастания концентраций комплексных соединений приводит к формированию аутигенных минеральных фаз. Все рассматриваемые воды были неравновесны с первичными алюмосиликатами, но равновесны с вторичными минералами. На представленных диаграммах наблюдается четкая смена состава подземных вод при их циркуляции в природно-техногенных структурах и изменение состава вторичной минеральной фазы. *Такое «поведение» природных вод достаточно часто наблюдалось гидрогеологами. Заслуга диссертанта в том, что эффект подтвержден на большом фактическом материале подземных вод угольных шахт.* Практически все рассматриваемые воды равновесны с каолинитом. Дальнейшее взаимодействие воды с породой приводит к росту содержания подвижных катионов. При увеличении в растворе концентраций магния, кальция и натрия образуются монтмориллониты и хлорит. При накоплении ионов K^+ формируются иллит и мусковит. При минерализации воды > 4 г/дм³ достигается равновесие с анальцимом, который является характерным минералом щелочных натриевых вод. Кроме силикатов рассматриваемые воды равновесны с рядом карбонатов, сульфатов, оксидов и гидроксидов. Подземные воды, имеющие минерализацию $> 0,6$ г/дм³, насыщены карбонатами кальция и магния.

Весьма примечательно обнаружение хорошо растворимого сульфата магния (эпсомита) в Раздольненском бассейне, что аналогично шахтным водам колчеданных месторождений Урала (С.Н.Елохина, WRI-2013). При иных составах подземных вод в водной фазе происходит накопление Na^+ и SO_4^{2-} . В местах изливов вод техногенного комплекса в условиях земной поверхности наступает равновесие рассматриваемых вод с рядом гидратированных натриевых, кальциевых и магниевых минералов: $Na_2CO_3 \cdot H_2O$, Na_2SO_4 , $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ и др.; с ними из раствора выводятся такие элементы как Be, Sc, Mn, Pb, Sn, Ga, V, Ti, Cu, Zn, Co, Ni, Zr, Sr, Cr, Ba.

Диссертант обращает внимание на необходимость учета степени насыщения вод

относительно вторичных минералов при разработке технологии очистки подземных вод и учете воздействия ликвидированных шахт на окружающую природную среду. Совершенно справедливо диссертант обратила внимание на отсутствие четких отличий в составе выделенных типов вод, в строении гидрогеохимической зональности, в направлении процессов. Чтобы уточнить причины этого И.А.Тарасенко обратилась к *физико-химическому моделированию системы «вода–порода» в условиях закрытой и открытой по CO₂ систем, используя фундаментальные выводы о физико-химических факторах, определяющих состав водной фазы (Крайнов и др., 2006)*. Адекватность моделей реальным природным объектам оценивалась по соответствию расчетных соотношений содержаний химических элементов в водах, рН среды и минерального состава новообразующихся твердых фаз природным параметрам. *Оппоненту приятно отметить творческое применение выше упомянутых принципов (Крайнов и др., 2006) для реконструкции состава подземных вод районов ликвидированных шахт Приморья и Сахалина*. Таким образом, было установлено, что геохимическая специфика подземных вод техногенного комплекса природно-техногенных структур Приморья и Сахалина закладывается в области питания и трансформируется в направлении фильтрационного потока по схеме: $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Na(Mg)}$. *Основными физико-химическими факторами, определяющими формирование состава водных растворов, циркулирующих в природно-техногенных структурах, оказались соотношение реагирующих масс породы и воды и парциальное давление CO₂ и O₂ в системе «вода–порода».*

В пятой главе диссертации проводится сравнительный анализ особенности формирования подземных вод в природно-техногенных структурах крупных угольных бассейнов бывш. СССР. Проведенный анализ показал, что воды, формирующиеся в рассматриваемых угольных бассейнах, характеризуются специфическими особенностями состава по макрокомпонентам. *Все правильно, но оппоненту непонятно, почему И.А.Тарасенко связывает эти закономерности с географическим положением угольных бассейнов вместо сравнения с литологической характеристики пород, которую диссертант представила в предшествующих главах.*

Диссертант, как это часто встречается в гидрогеохимии и геологии рудных месторождений, не удержалась от желания создать классификацию исследованных вод. Предложенная ею систематизация подземных вод районов ликвидированных шахт вероятно полезна для практикующих гидрогеологов. *Оппоненту представляется более ценным и количественно доказанным вывод, что состав вод техногенных комплексов находится в тесной зависимости от особенностей геологического строения осадочных бассейнов, стратиграфического расположения природно-техногенных структур и строго коррелируется с наличием в угольных и надугольных толщах морских, соленосных и пресноводных групп геологических формаций.*

В шестой главе выполнена оценка экологической безопасности техногенного водоносного комплекса для окружающей среды. На примере конкретных объектов показано, как в природно-техногенных структурах формируются воды, которые своим химическим составом инициируют очаг загрязнения. Созданная автором численная модель наглядно демонстрирует зону распространения вод техногенного комплекса, может служить прогнозным целям и имеет большое практическое значение.

Обратимся к анализу **основных защищаемых положений** диссертации И.А.Тарасенко

1. Подземные водоносные горизонты при затоплении угольных шахт не восстанавливаются в прежних параметрах и координатах, а формируют гидравлически связанный техногенный водоносный комплекс. Его формирование определяется особенностями современной гидрогеологической стратификации надугольной и угольной толщ, масштабами зоны водопроницающих трещин, величиной водопритока и емкостными характеристиками сдренированного массива»

2. Геохимическая специфика подземных вод техногенного комплекса природно-техногенных структур Приморья и Сахалина закладывается в области питания и трансформируется в направлении фильтрационного потока по схеме: $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Na(Mg)}$. Она определяется соотношением взаимодействующих масс породы и воды, контролируется парциальным давлением CO_2 и O_2 в системе «вода–порода» и процессами вторичного минералообразования»

3. Формирование геохимических типов подземных вод в природно-техногенных структурах зависит от состава пород осадочных бассейнов и, в первую очередь, от наличия в угольных и надугольных толщах морских, соленосных и пресноводных групп геологических формаций, которые определяют направленность процессов растворения в системе «вода–порода».

4. Влияние техногенного водоносного комплекса на бассейн подземных вод и поверхностные водотоки в районах ликвидированных угольных шахт носит локальный в пространстве характер. Особенности сформировавшейся гидрогеологической структуры определяют размеры гидрогеохимических полей техногенно-трансформированных вод и масштабы их воздействия на окружающую природную среду.

Первое защищаемое положение подтверждается материалом третьей главы и хотя не является полностью новым, но доказано на материале *докторском по объему исследования и для месторождений, ранее не изучавшихся с точки зрения геохимии и геоэкологии.*

Второе и третье защищаемые положения подтверждаются материалами третьей и четвертой глав и являются *принципиально новыми по методологии исследования (численное моделирование) и докторскими по обоснованности выводов.*

Четвертое защищаемое положение базируется на материале пятой и шестой глав и является применением фундаментальных выводов диссертантка о гидрогеохимических процессах на консервируемых угольных шахтах для оценки и прогноза геоэкологического состояния окружающей среды. Это защищаемое положение является основой практического применения результатов диссертационной работы.

В заключение необходимо признать, что рецензируемая диссертация «Геохимические особенности состава и закономерности формирования подземных вод в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных угольных шахт» полностью соответствует требованиям ВАК РФ к докторским диссертациям и ее автор И.А.Тарасенко заслуживает присуждения степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков и полезных ископаемых и 25.00.36 – Геоэкология.

Содержание диссертации полно отражено в публикациях автора и автореферате. Работа написана хорошим научным языком, прекрасно иллюстрирована. Оппонент рекомендует опубликовать диссертацию как монографию для специалистов и учащихся, работающих в науках о Земле.

Рыженко Борис Николаевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией моделирования гидрохимических и гидротермальных процессов, сл.тел. 499-137-5837. E-mail: ryzhenko@geokhi.ru. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, адрес: 119991. Москва, ул.Косыгина, дом.19

Москва. 13 января 2015 г.

